Министерство образования Украины
Севастопольский государственный технический университет

На правах рукописи

ОБЖЕРИН Юрий Евгеньевич

# МЕТОДЫ АНАЛИЗА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СБОРОЧНЫХ СИСТЕМ С ВРЕМЕННЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

Специальность: 05.13.07 - Автоматизация технологических процессов и производств

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Севастополь - 1996

Министерство образования Украины
Севастопольский государственный технический университет

На правах рукописи

ОБЖЕРИН Юрий Евгеньевич

# МЕТОДЫ АНАЛИЗА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СБОРОЧНЫХ СИСТЕМ С ВРЕМЕННЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

Специальность: 05.13.07 - Автоматизация технологических процессов и производств

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Севастополь - 1996

 

Работа выполнена в Севастопольском государственном техническом университете

Научный консультант: доктор технических наук, профессор Копп Вадим Яковлевич

Официальные оппоненты:

1. Доктор технических наук, профессор Кондратенко Юрий Пантелеевич
2. Доктор технических наук, профессор Ротштейн Александр Петрович
3. Академик УкрАИН, доктор технических наук, профессор Тараненко Виктор Анатольевич

Ведущая организация - Научно - производственное предприятие "Оргтехавтоматизация", (г.Симферополь)

Защита состоится 22 февраля 1996 г. в 14 часов на заседании специализированного совета Д 11.03.01 в Севастопольском государственном техническом университете по адресу: 335053, г.Севастополь, Стрелецкая бухта, студгородок.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан 19 января 1996 г.

Ученый секретарь специализированного совета, кандидат технических наук, доцент А.Н. Шерешевский

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для современного этапа развития сборочного производства характерны следующие тенденции.

Первая тенденция - широкое применение метода концентрации технологических операций при создании автоматизированного оборудования для массового, серийного и мелкосерийного сборочного производства. Концентрация операций резко повышает производительность сборочного производства, позволяет быстро окупить затраты на автоматизацию. Вторая - широкое использование метода агрегатирования сборочных машин, автоматизированных линий сборки, транспортных средств, роботов и систем управления, что значительно сокращает сроки проектирования и изготовления средств автоматизации и оборудования сборочного производства. Третья тенденция - увеличение применения вычислительной техники при проектировании сборочных производств и в управлении процессами сборки, что повышает гибкость производства, создает высокую надежность используемых в сборке систем, позволяет реализовать потенциальные возможности современных технологий.

Одним из основных инструментов сочетания этих тенденций является использование математического моделирования при проектировании и эксплуатации сборочных производств. Математическое моделирование сборочных систем позволяет исследовать процесс их функционирования на стадии проектирования, анализировать различные режимы работы, учитывать влияние возмущений на стабильность работы и др.

Вопросы создания автоматизированных сборочных систем базируются на теории автоматических линий, большой вклад в развитие которой внесли работы Владзиевского А.П., Волчкевича Л.И., Дащенко А.И., Катковника В.Я., Клусова И.А., Лебедовского М.В., Рабиновича А.Н., Султан - Заде Н.М., Черпанова Б.И., Федотова А.И., Шаумяна Г.А., Ямпольского Л.С., Джао Д.Д., Хегинботама У.В., Хартли Дж. и др.

Проблема повышения надежности производственных комплексов является одной из важнейших в теории сборочных систем. С одной стороны эта проблема может решаться на базе повышения надежности отдельных единиц оборудования, входящего в систему, с другой - использованием аппаратного и временного резервирования. Довольно широкое распространение получило в настоящее время временное резервирование, как требующее сравнительно меньших затрат и позволяющее значительно повысить гибкость сборочного производства.

О временном резервировании говорят в тех случаях, когда системе в процессе функционирования предоставляется возможность израсходовать некоторое дополнительное время (резерв времени) на восстановление ее технических характеристик. В сборочном производстве источники резерва времени могут быть различными: склады, различного вида межоперационные накопители, запас производительности и т.д. Временное резервирование является важным фактором при согласовании производительностей различных устройств, входящих в сборочную систему.

Вопросам исследования систем с резервом времени (СРВ) и сборочным системам, в которых используется временное резервирование, наряду с работами ранее указанных авторов, посвящены работы Горфинкеля Д.Я., Дружинина Г.В., Дымшица Е.С., Коппа В.Я., Креденцера Б.П., Лангера Ю.М., Левина А.А., Пасько Н.И., Севастьянова Б.А., Северцева Н.А., Черкесова Г.Н., Ушакова И.А., Эрпшера Ю.Б. и др.

В настоящее время развитие теории сборочных систем с учетом временного резервирования базируется на теории надежности, марковских и полумарковских процессов с конечным множеством состояний, сетей массового обслуживания и др.

Следует отметить, что ввиду сложности и специфичности сборочных систем, применение к ним указанных аппаратов исследований вызывает значительные затруднения, а отказ от учета особенностей функционирования сборочных систем приводит к значительным ошибкам в моделировании. Одна из проблем при исследовании систем с резервом времени состоит в большой размерности решаемых задач.

Поэтому необходимы исследования, направленные на разработку моделей сборочных систем с учетом использования в них временного резервирования. Это и составляет содержание настоящей диссертации.

В ней в качестве основы моделирования сборочных систем с резервом времени используется аппарат теории полумарковских процессов (ПМП) с общим фазовым пространством, значительный вклад в развитие которой внесли работы Анисимова В.В., Коваленко И.Н., Королюка В.С., Кузнецова В.Н., Сильвестрова Д.С., Турбина А.Ф., Цинлара Е.и др. Для решения проблемы размерности применяются асимптотические алгоритмы фазового укрупнения.

Объектом исследования в диссертации являются автоматизированные системы сборки с временным резервированием.

Целью диссертации является повышение надежности и производительности гибких автоматизированных сборочных систем с временным резервированием, проектируемых или модифицируемых, на основе интегральных характеристик функционирования, получаемых на базе теории их комплексного анализа и параметрического синтеза.

Для достижения данной цели исследования в диссертации решены следующие задачи:

1. Разработана концепция математического моделирования автоматизированных сборочных систем с временным резервированием на основе использования теории ПМП с общим фазовым пространством и асимптотических алгоритмов фазового укрупнения.

2. Построен ПМП общего вида, описывающий функционирование СРВ, исследованы свойства этого класса систем.

3. Созданы математические модели базовых структур автоматизированных технологических систем с кумулятивным, мгновенно и постепенно пополняемым, а также комбинированным резервом времени.

4. Разработаны модели многокомпонентных автоматизированных сборочных систем с кумулятивным резервом времени.

5. Построены модели и определены характеристики многокомпонентных технологических систем с мгновенно пополняемым поэлементным и групповым резервом времени.

6. С использованием алгоритмов фазового укрупнения определены интегральные характеристики надежности и производительности автоматизированных сборочных систем с межоперационными накопителями.

7. Выбраны критерии оптимизации автоматизированных сборочных систем и рассмотрены различные виды ограничений, накладываемых на параметры накопительных устройств и показатели эффективности. Решены прямая и обратная задачи параметрической оптимизации сборочных систем с учетом временного резер-

вирования.

8. Проведен анализ данных экспериментальных исследований и имитационного моделирования, подтвердивший правильность полученных аналитических результатов.

9. На базе построенных в диссертации математических моделей разработана структура диалоговой программной системы (ДПС), обеспечивающей автоматизацию проектирования сборочных систем с учетом их временного резервирования.

Методы исследования. В работе в качестве основы исследования сборочных систем с резервом времени применяется аппарат теории ПМП с общим фазовым пространством. Кроме аппарата указанного класса случайных процессов в работе используются методы функционального анализа, теории интегральных уравнений, теории восстановления, математической теории надежности, теории массового обслуживания, математической статистики, математического анализа, интегральных преобразований, нелинейного программирования, имитационного моделирования.

Научная новизна. К наиболее существенным научным результатам работы относятся следующие:

1. Предложена концепция математического моделирования автоматизированных сборочных систем с временным резервированием.

2. Созданы математические модели базовых структур автоматизированных технологических систем с различными видами резерва времени.

3. Построен ПМП общего вида, описывающий функционирование СРВ, исследованы свойства этого класса систем. Доказаны теоремы о предельном поведении характеристик СРВ в условиях

высокой надежности.

4. Разработаны модели и определены характеристики надежности многокомпонентных автоматизированных сборочных систем с кумулятивным и мгновенно пополняемым резервом времени.

5. Получены интегральные характеристики надежности и производительности одно и многопоточных автоматизированных сборочных систем с промежуточными накопителями.

6. Решены задачи оптимизации, связанные с использованием резерва времени в сборочном производстве.

Практическая ценность и реализация работы состоит в следующем.

1. На основе построенных математических моделей получены замкнутые аналитические выражения для интегральных характеристик функционирования сборочных систем с временным резервированием. Выражения обладают достаточной общностью и могут быть использованы при проектировании широкого класса сборочных систем.

2. Предложены методики выбора объемов накопителей, обеспечивающих оптимальную надежность и производительность гибких автоматизированных линий сборки (ГАЛС).

3. Разработаны структура, принципы реализации и программные модули ДПС, предназначенной для проектирования сборочных систем с временным резервированием. ДПС построена с учетом возможности сбора данных в условиях производства, необходимых для выполнения расчетов, и является открытой для включения в нее новых моделей.

Работа выполнена в составе хоздоговорных НИР департамента Кибернетики и вычислительной техники Севастопольского государственного технического университета: х/д N 1063 и х/д

N 1117; составе госбюджетной НИР департамента Автоматизации технологических процессов и производств "Исследование и разработка методов и средств комплексной автоматизации вибролевитационной обработки резанием нежестких деталей" (1994 - 96 г.г.), включенной в планы и финансируемой Минобразования Украины, а также госбюджетных НИР кафедры Математики и математического моделирования.

Результаты работы внедрены на: научно - производственном предприятии "Оргтехавтоматизация" (г.Симферополь), Мелитопольском моторном заводе (г. Мелитополь). Ряд теоретических положений использован в учебном процессе. Годовой экономический эффект, полученный при внедрении результатов диссертации, составил 182 тыс. руб. в ценах до 1991 года.

<u>На защиту выносятся</u> следующие результаты:

1. Концепция математического моделирования автоматизированных сборочных систем с временным резервированием.

2. Модели базовых структур автоматизированных технологических систем с различными видами резерва времени.

3. Теоремы, описывающие предельное поведение характеристик надежности СРВ в условиях высокой надежности.

4. Модели многокомпонентных автоматизированных сборочных систем с кумулятивным и мгновенно пополняемым резервом времени.

5. Модели многофазных одно и многопоточных ГАЛС с промежуточными накопителями и интегральные характеристики их надежности и производительности.

6. Задачи оптимизации автоматизированных сборочных систем с учетом временного резервирования.

<u>Апробация работы</u>. Основные положения диссертационной ра-

боты докладывались и обсуждались на: I республиканской конференции по повышению надежности и долговечности машин и сооружений, Киев, 1982; научной конференции - сессии молодых математиков, Киев, 1982; II Всесоюзной конференции "Перспективные методы планирования и анализа экспериментов при исследовании случайных полей и процессов", Севастополь, 1985; X Всесоюзной школе - семинаре по теории телетрафика, Батуми, 1988; 3 - ей Всесоюзной научно - технической конференции "Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров", Пенза, 1988; республиканской научно - практической конференции "Моделирование плановых расчетов и диалоговая оптимизация", Севастополь, 1990; XVII межрегиональном семинаре "Эргономика и эффективность систем человек - техника", Игналина, 1991; краткосрочном семинаре "Отказоустойчивость и живучесть аппаратуры и програмного обеспечения вычислительных машин, систем и сетей в процессе их разработки и эксплуатации", Санкт-Петербург, 1991; международной конференции "Дифференциальные уравнения, математическая физика и специальные функции", Самара, 1992; международной школе - семинаре "Проблемные вопросы автоматизации", Севастополь, 1995; конференциях профессорско - преподавательского состава СПИ; семинарах кафедры математики и математического моделирования и департамента автоматизации технологических процессов и производств.

Публикации. По теме диссертации опубликовано более 40 печатных работ, брошюра, тезисы докладов на международных и республиканских конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, содержащего 220 наименований и приложений. Основной текст диссертации занимает 267 стр. Работа содержит 32 рис. и 19 табл.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы и излагается перечень вопросов, исследованию которых посвящена диссертационная работа, формулируется цель исследования.

Первая глава, являющаяся вводной, посвящена анализу структуры сборочного производства и методов его моделирования. В разделе 1.1 раскрыты компоненты понятия гибкого сборочного производства. В разделе 1.2 рассматриваются структура и элементы гибкого сборочного производства, представлены встречающиеся компоновки ГАЛС, показана роль автоматизированной транспортно - складской системы в гибком сборочном производстве. В разделе 1.3 раскрывается значение временного резервирования как фактора повышения гибкости и надежности сборочного производства. Аналитический обзор работ, посвященных системам с временным резервированием и автоматизированным сборочным линиям, в которых используется временное резервирование, представлен в разделе 1.4. В разделе 1.5 приведены основные сведения из теории ПМП с фазовым пространством общего вида, используемые в работе. Концепция математического моделирования сборочных систем с временным резервированием изложена в разделе 1.6, в разделе 1.7 сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе рассматриваются модели базовых структур автоматизированных технологических систем с различными видами резерва времени.

В разделе 2.1 представлена модель ячейки сборки (ЯС) с кумулятивным (непополняемым) резервом времени. Пусть время безотказной работы ЯС случайная величина (СВ) $\alpha$ с функцией распределения (ФР) $F(t)$, время восстановления ЯС СВ $\beta$ с ФР $G(t)$, величина резерва времени (неслучайного) равна $\tau$. Тогда вероятность безотказной работы (ВБР) системы $\varphi(\tau,t)$ вычисляется по формуле:

$$\varphi(\tau,t)=\begin{cases} 1, \; 0\leq t<\tau, \\ \bar F(t-\tau)+\sum\limits_{n=1}^{\infty} G^{*(n)}(\tau)\left[F^{*(n)}(t-\tau)-F^{*(n+1)}(t-\tau)\right], \; t\geq\tau, \end{cases} \qquad (1)$$

среднее значение времени работы системы до отказа $M\xi_{0\tau}$ и его дисперсия $D\xi_{0\tau}$ имеют следующий вид:

$$\begin{gathered} M\xi_{0\tau}=\tau+M\alpha\, H(\tau), \\ D\xi_{0\tau}=D\alpha\, H(\tau)+M^2\alpha\left[2(H*H)(\tau)-H(\tau)-H^2(\tau)\right], \end{gathered} \qquad (2)$$

где $H(x)=\sum\limits_{n=0}^{\infty} G^{*(n)}(x)$ - функция восстановления.

Получены приближенные формулы для $M\xi_{0\tau}$ и $D\xi_{0\tau}$ :

$$M\xi_{0\tau}=\left(1+\frac{M\alpha}{\mu}\right)\tau+M\alpha\left(\frac{\sigma^2}{2\mu^2}+\frac{1}{2}\right)+O(1),$$

$$D\xi_{0\tau}=\left(\frac{D\alpha}{\mu}+\frac{M^2\alpha\,\sigma^2}{\mu^3}\right)\tau+D\alpha\left(\frac{\sigma^2}{2\mu^2}+\frac{1}{2}\right)+$$

$$+M^2\alpha\left(\frac{1}{12}+\frac{5\sigma^4}{4\mu^4}-\frac{2\mu_3}{3\mu^3}\right)+O(1),\; \tau\to\infty,$$

$$\mu=M\beta\,,\; \mu_3=M\beta^3\,,\; \sigma^2=D\beta\,.$$

В разделе 2.2 проводится анализ ЯС с мгновенно пополняемым резервом времени. Показано, что в этом случае ВБР определяется равенством:

$$\varphi(t)=\bar F(t)+\int_0^t \bar R(x)\bar G(x)f(t-x)dx+\int_0^t \bar F(x)h(t-x)dx+ \tag{3}$$
$$+\int_0^t h(t-x)dx\int_0^x \bar R(s)\bar G(s)f(x-s)ds,\ h(x)=\sum_{n=1}^{\infty}[f*(\bar R_g)]^{*(n)}(x),$$

где $F(t)$, $G(t)$ имеют прежний смысл, $f(t)$, $g(t)$ их плотности, $R(t)$ - ФР величины резерва времени. Получен ряд других характеристик этой системы.

ЯС с постепенно пополняемым резервом времени рассмотрена в разделе 2.3. Показано, что если скорость пополнения накопителя равна единице, то среднее время работы системы до отказа имеет вид:

$$M\xi_\tau=[M\alpha+\int_0^\tau \bar G(t)dt+M\alpha\int_0^\tau h_\gamma(\tau,y)dy+$$
$$+\int_0^\tau h_\gamma(\tau,y)dy\int_0^y \bar G(t)dt]/[\bar G(\tau)+\int_0^\tau \bar G(t)h_\gamma(\tau,t)dt], \tag{4}$$
$$h_\gamma(x,y)=\sum_{n=1}^{\infty}\gamma^{(n)}(x,y),\ \gamma^{(1)}(x,y)=\int_0^{x\wedge y} g(x-t)f(y-t)dt,$$
$$\gamma^{(n)}(x,y)=\int_0^\tau \gamma^{(n-1)}(x,t)\gamma^{(1)}(t,y)dt.$$

В случае, когда скорость пополнения накопителя равна $C$, формула (4) сохраняется, только вместо ФР $F(t)$ СВ $\alpha$ нужно взять ФР $F_c(t)$ СВ $C\alpha$.

В разделе 2.4 рассматривается ЯС резерв времени которой имеет кумулятивную и мгновенно пополняемую составляющие.

В разделе 2.5 изучается двухфазная система сборки с промежуточным накопителем. Время безотказной работы (восстановления) ЯС $A_i$, $i=\overline{1,2}$ является СВ $\alpha_i^{(0)}$ ($\alpha_i^{(1)}$) с ФР $F_i^{(0)}(t)$ ($F_i^{(1)}(t)$). Емкость накопителя $B_1$, который предполагается абсолютно надежным, выражается в единицах времени, которое понадобится ЯС $A_2$ для полного освобождения накопителя; максимальная емкость накопителя равна $h \geqslant 0$. Для исследования этой системы использовались алгоритмы фазового укрупнения.

Показано, что среднюю стационарную наработку на отказ $T_+^{(h)}$, среднее стационарное время восстановления $T_-^{(h)}$, стационарный коэффициент готовности $K_\Gamma^{(h)}$ можно приближенно вычислить по следующим формулам:

$$T_+^{(h)} = (M\alpha_1^{(0)} M\alpha_2^{(0)}) / [ M\alpha_1^{(0)} + \bar{F}_1^{(1)}(h) \int_h^\infty \bar{F}_2^{(0)}(t)dt ] , \tag{5}$$

$$T_-^{(h)} = [ M\alpha_1^{(0)} M\alpha_2^{(1)} + \int_h^\infty \bar{F}_2^{(0)}(x)dx \int_h^\infty \bar{F}_1^{(1)}(t)dt ] / \\ / [ M\alpha_1^{(0)} + \bar{F}_1^{(1)}(h) \int_h^\infty \bar{F}_2^{(0)}(t)dt ] , \tag{6}$$

$$K_\Gamma^{(h)} = (M\alpha_1^{(0)} M\alpha_2^{(0)}) / [ M\alpha_1^{(0)} M\alpha_2^{(0)} + M\alpha_1^{(0)} M\alpha_2^{(1)} + \\ + \int_h^\infty \bar{F}_2^{(0)}(x)dx \int_h^\infty \bar{F}_1^{(1)}(t)dt ] . \tag{7}$$

В разделе 2.6 рассматривается дублированная система сборки с мгновенно пополняемым резервом времени.

Модели базовых структур используются для анализа многокомпонентных сборочных систем.

В третьей главе исследуются общие свойства СРВ. Для этого строится процесс марковского восстановления (ПМВ) и соответствующий ему ПМП общего вида, описывающие функционирование СРВ. Изучается предельное поведение характеристик СРВ в условиях высокой надежности.

Конструкция указанного ПМВ дается в разделе 3.1. Пусть $\{\xi_n, \theta_n; n \geqslant 0\}$ - ПМВ с фазовым пространством $(X, \mathcal{B})$, заданный полумарковским ядром

$$Q(t, x, B) = \int_B G(t, x, y)\, P(x, dy),$$

описывающий функционирование исходной системы без резерва времени. Предположим, что $E_- \in \mathcal{B}$, $E_+ = X \setminus E_-$, $E_+ = E_+^{(0)} \cup E_+^{(1)}$, $E_+^{(0)} \in \mathcal{B}$, $E_+^{(1)} \in \mathcal{B}$, $E_+^{(0)} \cap E_+^{(1)} = \emptyset$. Задается ПМВ $\{\bar{\xi}_n, \bar{\theta}_n; n \geqslant 0\}_{(h)}$ и соответствующий ему ПМП $\xi_{(h)}(t)$ с пространством состояний

$$\bar{X} = E_+^{(0)} \times \{0\} \cup (E_- \cup E_+^{(1)}) \times [0, \infty) \cup \{e_{\bar{x}}, \bar{x} \in E_- \times [0, \infty)\}, \tag{8}$$

определяющие функционирование системы с резервом времени (мгновенно пополняемым и кумулятивным), равным $h$.

В разделе 3.2.1 изучается предельное поведение ВБР системы с мгновенно пополняемым резервом времени при большом резерве времени. Пусть $E_+^{(1)} = \emptyset$, $\bar{E}_+ = \bar{X} \setminus \{e_{\bar{x}}, \bar{x} \in E_- \times [0, \infty)\}$,

$$\tau_{\bar{x}}^{(h)} = \inf\{t \geqslant 0 : \xi_{(h)}(t) \bar{\in} \bar{E}_+\}, \quad \xi_{(h)}(0) = \bar{x} \in E_+^{(0)} \times \{0\},$$

$\tau_{\bar{x}}^{(h)}$ - время работы системы до отказа.

Показано, что при определенных условиях имеет место предельное соотношение

$$\lim_{h \to \infty} P\{\Lambda_{(h)} \tau_{\bar{x}}^{(h)} > t\} = e^{-t}, \tag{9}$$

где

$$\Lambda_{(h)} = \frac{\int\limits_{E_- \times [0,h]} \bar{G}_x(h-z)\rho^{(\infty)}(d(x,z))}{\int\limits_{E_+} m(x)\rho^{(\infty)}(d(x,z))}, \tag{10}$$

$G_x(t)$ - ФР времени пребывания в состоянии $x$ ПМВ $\{\xi_n, \theta_n; n>0\}$, $m(x)$ - среднее время пребывания в состоянии $x$, $\rho^{(\infty)}$ - стационарное распределение вложенной цепи Маркова (ВЦМ) опорного процесса.

Основная трудность при практическом использовании соотношения (9)-(10) состоит в нахождении стационарного распределения $\rho^{(\infty)}$. В разделе 3.2.2 рассматривается вопрос его нахождения в случае, когда ПМВ $\{\xi_n, \theta_n; n\geqslant 0\}$ имеет конечное пространство состояний. Пусть ПМВ $\{\xi_n, \theta_n; n\geqslant 0\}$ с пространством состояний $X=\{1,\dots,\ell,\ell+1,\dots,m\}$ задан полумарковской матрицей

$$Q(t) = \{Q_{ij}(t) = P_{ij}\,G_{ij}(t),\ i,j=\overline{1,m}\},$$

$$X = E_- \cup E_+^{(0)},\ E_- = \{1,\dots,\ell\},\ E_+^{(0)} = \{\ell+1,\dots,m\}.$$

Система уравнений для определения $\rho^{(\infty)}$ имеет вид:

$$\begin{cases} \rho(i,0) = \sum\limits_{k=1}^{\ell} P_{ki}\,[\rho(k,0) + \int\limits_0^{\infty}\rho(k,z)dz] + \sum\limits_{k=\ell+1}^{m} P_{ki}\,\rho(k,0),\ i=\overline{\ell+1,m}, \\ \rho(i,0) = \sum\limits_{k=\ell+1}^{m}\rho(k,0)\,P_{ki},\ i=\overline{1,\ell}, \\ \rho(i,z) = \sum\limits_{k=1}^{\ell} P_{ki}\,[\rho(k,0)g_{ki}(z) + \int\limits_0^{z} g_{ki}(z-t)\rho(k,t)dt],\ i=\overline{1,\ell},\ z>0, \\ \sum\limits_{i=\ell+1}^{m}\rho(i,0) + \sum\limits_{i=1}^{\ell}\int\limits_0^{\infty}\rho(i,z)dz = 1. \end{cases} \tag{11}$$

где $g_{ij}(t)$ производные функций $G_{ij}(t)$ . Предлагается метод решения системы (11), приводится пример использования предельного соотношения (9)-(10).

В разделе 3.2.3 рассматривается предельное поведение ВБР систем с мгновенно пополняемым резервом времени при условиях, характерных для систем с быстрым восстановлением. Устанавливается предельное соотношение, аналогичное (9)-(10).

В приложениях часто встречаются СРВ, у которых в момент начала расходования резерва времени оставшиеся работоспособными устройства отключаются на период использования этого резерва. В разделе 3.3 рассматривается класс СРВ такого вида. Пусть ВЦМ $\{\xi_n; n \geqslant 0\}$ ПМВ $\{\xi_n, \theta_n; n \geqslant 0\}$ обладает свойством:

$$P(x, B) = 0, \; x \in E_-, \; B \subset E_-, \; B \in \mathcal{B}. \tag{12}$$

Условие (12) означает, что при попадании в состояния подмножества $E_-$ , где происходит расход резерва времени, система на следующем шаге переходит в работоспособные состояния. Это характерно для систем с отключением устройств. Показано, что в этом случае в предельном соотношении (9)-(10) нормирующая функция (10) имеет следующий вид:

$$\Lambda_{(h)} = \frac{\int\limits_{E_- \times \{0\}} \bar{G}_x(h)\rho(dx)}{\int\limits_X m(x)\rho(dx)}, \tag{13}$$

где $\rho(dx)$ - стационарное распределение ВЦМ $\{\xi_n; n \geqslant 0\}$.

Результаты этой главы позволяют использовать известные характеристики систем без резерва времени для нахождения характеристик СРВ.

В четвертой главе рассматриваются модели многокомпонентных сборочных систем с различными видами временного резервирования.

В разделе 4.1.1 представлены сборочные системы последовательной и параллельной структур с кумулятивным резервом времени.

Время восстановления сборочных систем существенно зависит от вида отказавшего оборудования. В разделе 4.1.2 построена модель сборочной системы с кумулятивным резервом времени и различными видами отказов. Отказ ЯС может произойти по причине отказа $i$ - го устройства, $i=\overline{1,n}$ с вероятностью $P_i \geqslant 0$ , $\sum_{i=1}^{n} P_i = 1$ . Если отказ ЯС произошел вследствие отказа $i$ - го устройства, то время восстановления ЯС - СВ $\beta_i$ с ФР $G_i(t)$ . Показано, что в этом случае сохраняются формулы (1), (2), только вместо ФР $G(t)$ нужно взять ФР $G_\ell(t) = \sum_{i=1}^{n} P_i G_i(t)$ .

В разделе 4.2.1 рассматривается модель сборочной системы с поэлементным мгновенно пополняемым резервом времени. Пусть времена безотказной работы (восстановления) $i$ - го устройства системы $S$ - СВ $\xi_i^{(0)}$ ( $\xi_i^{(1)}$ ) с ФР $F_i^{(0)}(t)$ ( $F_i^{(1)}(t)$ ), $i=\overline{1,N}$ . Каждое устройство имеет мгновенно пополняемый резерв времени, равный $h_i \geqslant 0$. Понятие отказа системы $S$ определяется на основе анализа структуры системы. Пусть

$$E = E_1 \times E_2 \times \dots \times E_N, \; E_i = \{0,1,2\}, \; i=\overline{1,N}, \; E^{(0)} \subset E.$$

Определены стационарные характеристики системы, так стационарный коэффициент готовности имеет следующий вид:

$$K_\Gamma^{(h_1,\dots,h_N)} = \sum_{\bar{d} \in E^{(0)}} \prod_{i:d_i=0} M\xi_i^{(0)} \prod_{j:d_j=1} M^{(1)}(h_j) \prod_{\ell:d_\ell=2} m_\ell^{(1)}(h_\ell) \,/$$

$$/ \sum_{\bar d \in E} \prod_{i:d_i=0} M\xi_i^{(0)} \prod_{j:d_j=1} M_j^{(1)}(h_j) \prod_{\ell:d_\ell=2} m_\ell^{(1)}(h_\ell), \qquad (14)$$

где

$$m_\kappa^{(1)}(h_\kappa) = \int_{h_\kappa}^{\infty} \bar F_\kappa^{(1)}(t)dt,\ M_\kappa^{(1)}(h_\kappa) = \int_0^{h_\kappa} \bar F_\kappa^{(1)}(t)dt,\ \kappa = \overline{1,N}.$$

В разделе 4.2.2 рассматривается СРВ с групповым резервом времени, когда резервом времени может воспользоваться определенная группа устройств. В начале изучается система "$P$ из $N$" с резервом времени. Пусть $S$ система, состоящая из $N$ устройств, времена безотказной работы (восстановления) которых СВ $\xi_i^{(0)}$ ( $\xi_i^{(1)}$ ) с ФР $F_i^{(0)}(t)$ ( $F_i^{(1)}(t)$ ). Система становится неисправной, если отказали некоторые $1 \le P \le N$ устройства системы. В момент наступления неисправности в системе работоспособные устройства отключаются до окончания восстановления одного из отказавших устройств. Отказ системы наступает тогда, когда неисправность длится время, большее, чем $h \geqslant 0$ ($h$ - величина резерва времени). Число восстанавливающих устройств равно $\tau$, $1 \le \tau \le P$. Для этой системы определены стационарные характеристики:

- среднее стационарное время безотказной работы:

$$T_+^{(h)} = \Big[ \sum_{\bar d:|\bar d| \le P} \prod_{\ell=1}^{N} M\xi_\ell^{(d_\ell)} - \sum_{\bar d:|\bar d|=P} \prod_{\ell:d_\ell=0} M\xi_\ell^{(0)} \prod_{\kappa:d_\kappa=1} m_\kappa^{(1)}(h) \Big] /$$

$$(15)$$

$$/ \sum_{\bar d:|\bar d|=P} \prod_{\ell:d_\ell=0} M\xi_\ell^{(0)} \sum_{i:d_i=1} \bar F_i^{(1)}(h) \prod_{\substack{\kappa:d_\kappa=1,\\ \kappa \ne i}} m_\kappa^{(1)}(h),$$

$\bar{d}=(d_1,\dots,d_N)$, $d_k=\overline{0,1}$, $|\bar{d}|$ - число компонент вектора $\bar{d}$, равных единице;

- среднее стационарное время восстановления:

$$T_{-}^{(h)}=\sum_{\bar{d}:|\bar{d}|=p}\ \prod_{\ell:d_\ell=0} M\xi_\ell^{(0)} \prod_{k:d_k=1} m_k^{(1)}(h)\ /$$

$$/\sum_{\bar{d}:|\bar{d}|=p}\ \prod_{\ell:d_\ell=0} M\xi_\ell^{(0)} \sum_{i:d_i=1}\bar{F}_i^{(1)}(h) \prod_{\substack{k:d_k=1,\\ k\neq i}} m_k^{(1)}(h), \tag{16}$$

- стационарный коэффициент готовности:

$$K_{\Gamma}^{(h)}=\Big[\sum_{\bar{d}:|\bar{d}|\le p}\ \prod_{\ell=1}^{N} M\xi_\ell^{(d_\ell)}-\sum_{\bar{d}:|\bar{d}|=p}\ \prod_{\ell:d_\ell=0} M\xi_\ell^{(0)} \prod_{k:d_k=1} m_k^{(1)}(h)\Big]/$$

$$/\sum_{\bar{d}:|\bar{d}|\le p}\ \prod_{\ell=1}^{N} M\xi_\ell^{(d_\ell)}. \tag{17}$$

С использованием алгоритма асимптотического фазового укрупнения исследовано предельное поведение ВБР системы "$p$ из $N$" в случае быстрого восстановления. Предположение о быстром восстановлении формулируется следующим образом: пусть СВ $\xi_i^{(0)}$ фиксированы, а СВ $\xi_i^{(1)}=\xi_i^{(1,\varepsilon)}$, зависят от малого параметра $\varepsilon$, $\varepsilon\in[0,\varepsilon_0)$ так, что

$$\lim_{\varepsilon\to 0} M\xi_i^{(1,\varepsilon)}=0,\ i=\overline{1,N}. \tag{18}$$

Показано, что при неограниченном восстановлении ($z=p$, $z$ - число ремонтников) ВБР системы можно приближенно вычислить по формуле:

$$P\{\vartheta_h>t\}\approx e^{-\Lambda(h)t}, \tag{19}$$

где $\delta_h$ - время работы системы до первого отказа, параметр $\Lambda_{(h)}$ определяется равенством:

$$\Lambda_{(h)} = \sum_{\bar{d}:|\bar{d}|=p} \prod_{\ell:d_\ell=0} M\xi_\ell^{(0)} \sum_{i:d_i=1} \bar{\bar{F}}^{(1)}(h) \prod_{\substack{k:d_k=1,\\ k\neq i}} m_k^{(1)}(h) / \prod_{i=1}^{N} M\xi_i^{(0)}, \quad (20)$$

величина $\Lambda_{(h)}^{-1}$ определяет среднее время работы системы до отказа.

В случае $r=p-1$ параметр $\Lambda_{(h)}$ имеет вид:

$$\Lambda_{(h)} = \sum_{\bar{d}:|\bar{d}|=p} \prod_{\ell:d_\ell=0} M\xi_\ell^{(0)} \sum_{i:d_i=1} \prod_{k:d_k=1} m_k^{(1)}(h) / \prod_{i=1}^{N} M\xi_i^{(0)}. \quad (21)$$

При $r=1$ (полностью ограниченное восстановление)

$$\Lambda_{(h)} = \sum_{i=1}^{N} m_i^{(1,p-1)}(h) \sum_{\substack{\{r_1,\dots,r_j,\dots,r_{N-p}\},\\ r_j\neq i}} \prod_{j=1}^{N-p} M\xi_{r_j}^{(0)} / \prod_{i=1}^{N} M\xi_i^{(0)}, \quad (22)$$

где

$$m_i^{(1,p-1)}(h) = \int_0^\infty x^{p-1}\, d\bar{\bar{F}}_i^{(1)}(x+h), \quad i=\overline{1,N}.$$

Формулы (20)-(22) перенесены в работе на более широкий класс систем, чем система " $P$ из $N$ ". Приведем соответствующие результаты.

Пусть $S$ - система, состоящая из $N\geqslant 1$ элементов, времена безотказной работы которых СВ $\xi_i^{(0)}$ с ФР $F_i^{(0)}(t)$, а времена восстановления СВ $\xi_i^{(1)}$ с ФР $F_i^{(1)}(t)$, $i=\overline{1,N}$. СВ $\xi_i^{(0)}$, $\xi_i^{(1)}$ предполагаются независимыми в совокупности, имеющими конечные математические ожидания.

Состояние всей совокупности элементов системы $S$ в момент времени $t$ задается вектором $\bar{d}(t)$, где

$$[\bar{d}(t)]_k = \begin{cases} 0, & \text{если в момент } t \ k\text{-ый элемент работоспособен} \\ & \text{или отключен,} \\ 1, & \text{если в момент } t \ k\text{-ый элемент восстанавливается.} \end{cases}$$

Пусть $D$ - множество всех двоичных векторов длины $N$, предположим, что $D$ представлено в виде:

$$D = E_+ \cup E_- , \quad E_+ \cap E_- \neq \varnothing ,$$

элементы из $E_-$ будем называть предотказовыми, $E_+$ работоспособными состояниями системы.

Система считается неисправной в момент времени $t$, если $\bar{d}(t) \in E_-$. В момент наступления неисправности в системе работоспособные элементы отключаются на период неисправности, затем начинают работать с тем уровнем наработки, на каком их застало наступление неисправности. Отказ системы наступает тогда, когда неисправность длится время, большее чем $h \geq 0$. Число восстанавливающих устройств равно $r$. Дисциплина восстановления прямая. Введем определения.

Определение 1. Граничным предотказовым состоянием системы называется состояние $\bar{d} \in E_-$ такое, что существует работоспособное состояние $\bar{d}' \in E_+$, из которого система может перейти в $\bar{d}$ в результате отказа некоторого элемента системы.

Определение 2. Минимальным предотказовым состоянием называется граничное состояние с минимальным (из всех граничных предотказовых состояний) количеством отказавших элементов.

Множество минимальных предотказовых состояний системы обозначим $E_{-}^{min}$. Пусть $S$ число отказавших элементов в минимальных предотказовых состояниях, предполагается, что $S \geq 2$.

Ниже приводятся выражения для параметра $\Lambda(h)$, полученные на основании использования алгоритма фазового укрупнения.

1. Пусть $r = S$. Тогда параметр $\Lambda(h)$ находится по формуле:

$$\Lambda(h) = \sum_{\bar{d} \in E_{-}^{(min)}} \frac{1}{\prod_{n=1}^{S} M \xi_{i_n}^{(0)}} \sum_{k=1}^{S} \bar{F}_{i_k}^{(1)}(h) \prod_{\substack{\ell=1,\\ \ell \neq k}} m_{i_\ell}^{(1)}(h), \qquad (23)$$

где $i_1, \ldots, i_S$ - номера отказавших элементов из минимального предотказового состояния $\bar{d}$.

2. В случае $r = S-1$ параметр $\Lambda(h)$ имеет следующий вид:

$$\Lambda(h) = \sum_{\bar{d} \in E_{-}^{(min)}} \frac{1}{\prod_{n=1}^{S} M \xi_{i_n}^{(0)}} \sum_{k=1}^{S} \prod_{\substack{\ell=1,\\ \ell \neq k}}^{S} m_{i_\ell}^{(1)}(h). \qquad (24)$$

3. Предположим, что $r = 1$ (полностью ограниченное восстановление). Тогда

$$\Lambda(h) = \sum_{\bar{d} \in E_{-}^{(min)}} \frac{1}{\prod_{n=1}^{S} M \xi_{i_n}^{(0)}} \sum_{\ell=1}^{S} m_{i_\ell}^{(1,1-S)}(h). \qquad (25)$$

В работе показано, что для системы " $p$ из $N$ " в случае неограниченного восстановления при большом резерве времени ($h \to \infty$) ВБР можно приближенно вычислять по формуле (19), где параметр $\Lambda(h)$ определяется равенством:

$$\Lambda_{(h)} = \sum_{\bar{d}:|\bar{d}|=p} \prod_{\ell:d_\ell=0} M\xi_\ell^{(0)} \sum_{i:d_i=1} \bar{F}_i^{(1)}(h) \prod_{\substack{k:d_k=1,\\ k\neq i}} m_k^{(1)}(h) \Big/ \tag{26}$$

$$\Big/ \sum_{\bar{d}:|\bar{d}|\le p} \prod_{\ell=1}^{N} M\xi_\ell^{(d_\ell)}.$$

В разделе 4.3.1 построена полумарковская модель однопоточной ГАЛС с промежуточными накопителями. Для приближенного нахождения интегральных характеристик надежности и производительности используются алгоритмы асимптотического фазового укрупнения. Структурная схема ГАЛС изображена на рис.1.

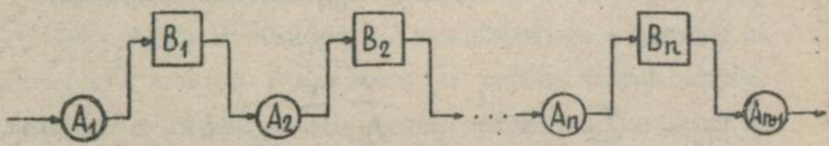


Рис.1. Структурная схема однопоточной ГАЛС с промежуточными накопителями

На схеме приняты следующие обозначения: $A_i$ , $i=\overline{1,n+1}$ - обслуживающие устройства (ЯС); $B_i$ , $i=\overline{1,n}$ - промежуточные накопители. Время безотказной работы (восстановления) устройства $A_i$ является СВ $\alpha_i^{(0)}$ ($\alpha_i^{(1)}$ ) с ФР $F_i^{(0)}(t)$ ( $F_i^{(1)}(t)$ ). Накопители $B_i$ являются абсолютно надежными устройствами, имеющими ограниченные емкости $h_i$ (емкость накопителя $B_i$ выражается в единицах времени, которое понадобится устройству $A_{i+1}$ для полного освобождения накопителя). Система находится в состоянии отказа, если выходное устройство $A_{n+1}$ не производит сборку.

С использованием алгоритмов фазового укрупнения показано, что в случае быстрого восстановления устройств $A_i$, $i=\overline{1,n}$, среднее стационарное время безотказной работы $T_+^{(h_1,\dots,h_n)}$, среднее стационарное время восстановления $T_-^{(h_1,\dots,h_n)}$, стационарный коэффициент готовности $K_\Gamma^{(h_1,\dots,h_n)}$ могут быть приближенно вычислены по формулам:

$$T_+^{(h_1,\dots,h_n)} = \prod_{k=1}^{n+1} M\alpha_k^{(0)} / \Big[ \sum_{i=1}^{n+1} \prod_{z=1}^{i-1} M\alpha_z^{(0)} \bar{\bar{F}}_i^{(1)}\Big(\sum_{k=i}^{n} h_k\Big) \times \prod_{m=i+1}^{n+1} \int\limits_{\sum_{l=i}^{m-1} h_l}^{\infty} \bar{\bar{F}}_m^{(0)}(x_m)\,dx_m \Big], \tag{27}$$

$$T_-^{(h_1,\dots,h_n)} = \Big[ M\alpha_{n+1}^{(1)} \prod_{i=1}^{n} M\alpha_i^{(0)} + \sum_{i=1}^{n} \prod_{z=1}^{i-1} M\alpha_z^{(0)} \int\limits_{\sum_{k=i}^{n} h_k}^{\infty} \bar{\bar{F}}_i^{(1)}(t)\,dt \times \prod_{m=i+1}^{n+1} \int\limits_{\sum_{l=i}^{m-1} h_l}^{\infty} \bar{\bar{F}}_m^{(0)}(x_m)\,dx_m \Big] / \Big[ \prod_{k=1}^{n} M\alpha_k^{(0)} + \sum_{i=1}^{n} \bar{\bar{F}}_i^{(1)}\Big(\sum_{k=i}^{n} h_k\Big) \times \prod_{z=1}^{i-1} M\alpha_z^{(0)} \prod_{m=i+1}^{n+1} \int\limits_{\sum_{l=i}^{m-1} h_l}^{\infty} \bar{\bar{F}}_m^{(0)}(x_m)\,dx_m \Big], \tag{28}$$

$$K_{\Gamma}^{(h_1,\ldots,h_n)} = \prod_{k=1}^{n+1} M\alpha_k^{(0)} \Big/ \Big[ \prod_{k=1}^{n+1} M\alpha_k^{(0)} + M\alpha_{n+1}^{(1)} \prod_{i=1}^{n} M\alpha_i^{(0)} +$$
$$+ \sum_{i=1}^{n} \prod_{r=1}^{i-1} M\alpha_r^{(0)} \int\limits_{\sum_{k=i}^{n} h_k}^{\infty} \bar{F}_i^{(1)}(t)\,dt \prod_{m=i+1}^{n+1} \int\limits_{\sum_{l=i}^{m-1} h_l}^{\infty} \bar{F}_m^{(0)}(\tau_m)\,d\tau_m \Big]. \qquad (29)$$

В разделе 4.3.1 рассматривается ГАЛС параллельно - последовательной структуры, изображенной на рис.2.

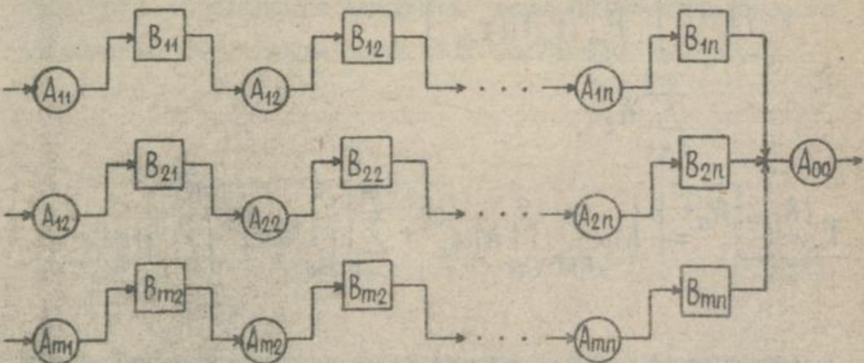


Рис.2. Структурная схема ГАЛС с накопителями и параллельно - последовательным соединением устройств

Рассматриваются два вида отказов ГАЛС:

а) устройство $A_{00}$ не производит сборку в силу отказа этого устройства; или оно работоспособно, но хотя бы один из накопителей $B_{1n}$ , $B_{2n}$ , ..., $B_{mn}$ пуст;

б) устройство $A_{00}$ не производит сборку в силу отказа этого устройства; или оно работоспособно, но все накопители $B_{1n}$ , $B_{2n}$ , ..., $B_{mn}$ пусты.

Найдены приближенные выражения для стационарных характеристик ГАЛС в случае этих видов отказов.

В случае отказа вида а)

$$T_{+}^{(h_{11},\dots,h_{mn})}=\prod_{(i,j)\in L} M\alpha_{ij}^{(0)} \Big/ \prod_{(i,j)\in L_0} M\alpha_{ij}^{(0)}+\sum_{(i,j)\in L_0}\bar{\bar{F}}_{ij}^{(1)}\Big(\sum_{k=j}^{n} h_{ik}\Big)\times$$

$$\times\prod_{k=1}^{j-1} M\alpha_{ik}^{(0)}\prod_{\substack{(s,z)\in L_0,\\ s\neq i}}\int\limits_{\sum_{k=j}^{n}h_{ik}}^{\infty}\bar{\bar{F}}_{sz}^{(0)}(t)dt\prod_{m=j+1}^{n}\int\limits_{\sum_{l=j}^{m-1}h_{il}}^{\infty}\bar{\bar{F}}_{im}^{(0)}(t)dt\int\limits_{\sum_{k=j}^{n}h_{ik}}^{\infty}\bar{F}_{00}^{(0)}(t)dt\ \Big],\quad (30)$$

где $L$ - множество всех пар ( $i$ , $j$ ) индексов, $L_0$ - множество всех пар индексов, кроме ( 0 , 0 ).

$$T_{-}^{(h_{11},\dots,h_{mn})}=\Big[M\alpha_{00}^{(1)}\prod_{(i,j)\in L_0} M\alpha_{ij}^{(0)}+\sum_{(i,j)\in L_0}\prod_{k=1}^{j-1} M\alpha_{ik}^{(0)}\prod_{\substack{(s,z)\in L_0,\\ s\neq i}}\int\limits_{\sum_{k=j}^{n}h_{ik}}^{\infty}\bar{\bar{F}}_{sz}^{(0)}(t)dt\times$$

$$\times\int\limits_{\sum_{k=j}^{n}h_{ik}}^{\infty}\bar{\bar{F}}_{00}^{(0)}(t)dt\prod_{m=j+1}^{n}\int\limits_{\sum_{l=j}^{m-1}h_{il}}^{\infty}\bar{\bar{F}}_{im}^{(0)}(t)dt\int\limits_{\sum_{k=j}^{n}h_{ik}}^{\infty}\bar{\bar{F}}_{ij}^{(1)}(t)dt\Big]\Big/\Big[\prod_{(i,j)\in L_0} M\alpha_{ij}^{(0)}+\quad (31)$$

$$+\sum_{(i,j)\in L_0}\bar{\bar{F}}_{ij}^{(1)}\Big(\sum_{k=j}^{n}h_{kj}\Big)\prod_{k=1}^{j-1} M\alpha_{ik}^{(0)}\prod_{\substack{(s,z)\in L_0,\\ s\neq i}}\int\limits_{\sum_{k=j}^{n}h_{ik}}^{\infty}\bar{\bar{F}}_{sz}^{(0)}(t)dt\prod_{m=j+1}\int\limits_{\sum_{l=j}^{m-1}h_{il}}^{\infty}\bar{\bar{F}}_{im}^{(0)}(t)dt\int\limits_{\sum_{k=j}^{n}h_{ik}}^{\infty}\bar{\bar{F}}_{00}^{(0)}(t)dt\Big].$$

В случае отказа вида б)

$$T_+^{(h_{11},\dots,h_{mn})} = \prod_{(i,j)\in L} M\alpha_{ij}^{(0)} \Big/ \Big[ \prod_{(i,j)\in L_0} M\alpha_{ij}^{(0)} + \sum_{\bar{w}\in W} \int\limits_{\bigvee\limits_{z=1}^{m} \sum\limits_{s=w_z}^{n} h_{zs}}^{\infty} \bar{F}_{00}^{(0)}(t)dt \,\times$$

$$\times \prod_{i=1}^{m} \prod_{\ell=1}^{w_i-1} M\alpha_{i\ell}^{(0)} \prod_{j=w_i+1}^{n} \int\limits_{\sum\limits_{z=w_i}^{j-1} h_{iz}}^{\infty} \bar{F}_{ij}^{(0)}(t)dt \sum_{i=1}^{m} \bar{F}_{iw_i}^{(1)}\Big(\sum_{j=w_i}^{n} h_{ij}\Big) \times \tag{32}$$

$$\times \prod_{\substack{k=1,\\ k\neq i}}^{m} \int\limits_{\sum\limits_{j=w_k}^{n} h_{ij}}^{\infty} \bar{F}_{kw_k}^{(1)}(t)dt \Big].$$

где $W=\{\bar{w}=(w_1,\dots,w_m)\}$, $w_i$ определяет положение отказавшего устройства в $i$- ветви ГАЛС, $\bigvee$ - знак операции выбора максимума.

При рассмотрении этой ГАЛС доказаны следующие две леммы.

Лемма 1. Пусть $G_i(t)$, $i=\overline{1,N}$ - функции распределения неотрицательных случайных величин, имеющих конечные математические ожидания. Тогда для любых $0\le a\le b$ справедливо равенство:

$$\sum_{k=1}^{N} \int_a^b \bar{G}_k(t_k)dt_k \int_{t_k}^{\infty}\!\!\dots\!\int_{t_k}^{\infty} \prod_{\substack{\ell=1,\\ \ell\neq k}}^{N} \bar{G}_\ell(t_\ell)dt_1\dots dt_{k-1}dt_{k+1}\dots dt_N =$$

$$= \sum_{k=1}^{N} \underbrace{\int_b^{\infty}\!\!\dots\!\int_b^{\infty}}_{k-1} \int_a^b \underbrace{\int_a^{\infty}\!\!\dots\!\int_a^{\infty}}_{N-k} \prod_{\ell=1}^{N} \bar{G}_\ell(t_\ell)dt_1\dots dt_N . \tag{33}$$

Лемма 2. Пусть $G_i(t)$ , $i=\overline{1,N}$ - функции распределения неотрицательных случайных величин, имеющих конечные математические ожидания. Тогда для любых $h_i \geqslant 0$, $i=\overline{1,N}$ справедливо равенство:

$$\sum_{i=1}^{N} \int_0^{\infty} \ldots \int_0^{\infty} \prod_{\substack{k=1,\\ t_i=0}}^{N} \bar{G}_k(t_k + \bigvee_{\substack{z=1,\\ t_i=0}}^{N} [h_z - t_z]^+) dt_1 \ldots dt_N =$$

$$= \sum_{i=1}^{N} \bar{G}_i(h_i) \prod_{\substack{k=1,\\ k \neq i}}^{N} \int_{h_k}^{\infty} \bar{G}_k(t_k) dt_k, \ [x]^+ = \begin{cases} 0, x < 0, \\ x, x \geqslant 0. \end{cases} \tag{34}$$

Отметим следующие свойства рассматриваемых моделей:

1) Модели построены в предположении что СВ, определяющие функционирование системы, имеют распределения общего вида, что значительно расширяет возможности применения полученных результатов.

2) Большинство интегральных характеристик надежности и производительности сборочных систем с резервом времени выражены в терминах математических ожиданий и значений ФР в отдельных точках. Эти данные можно реально получить в условиях сборочного производства.

<u>В пятой главе</u> на основе результатов, полученных в предыдущих главах, рассматриваются задачи оптимизации сборочных систем, связанные с использованием резерва времени.

В разделе 5.1 рассматриваются возможные ограничения на конструктивные параметры накопительного оборудования ГАЛС и показатели эффективности, среди которых:

- ограничение на суммарное число палет в накопителях

$$\sum_{i=1}^{n} L_i = \Lambda , \tag{35}$$

где - $L_i$ число палет в $i$ - ом накопителе линии, $\Lambda$ - максимальное число палет в ГАЛС;

- ограничения на возможное изменение объема $i$ - го нако-

$$N_{i\,min} \leq N_i \leq N_{i\,max}\ ,\ i=\overline{1,n}\ , \tag{36}$$

где $N_{i\,min}$ , $N_{i\,max}$ - минимальное и максимальное число ячеек (мест хранения) в $i$ - ом накопителе;

- ограничения на максимально допустимые затраты на образование заделов сборочных узлов в накопителях

$$\sum_{i=1}^{n} c_i L_i \leq C_3^{доп}\ , \tag{37}$$

где $C_3^{доп}$ - максимально допустимое значение затрат на образование заделов в накопителях ГАЛС; $c_i$ - коэффициент удельных затрат на содержание одной касеты в $i$ - ом накопителе.

При этом возможна постановка следующих двух задач оптимального использования резерва времени.

1) Добиться того, чтобы при максимально возможном показателе надежности $R(б_1,\dots,б_n)$ стоимость всего резерва времени не превышала заданного значения $C_0$ :

$$\max_X \left\{ R(б_1,\dots,б_n) \mid C(б_1,\dots,б_n) \leq C_0 \right\}, \tag{38}$$

где $C(б_1,\dots,б_n)$ - стоимость резерва времени в целом для системы, $б_1,\dots,б_n$ - значения параметров, определяющих значение резерва времени, $X$ - область изменения параметров.

2) Добиться того, чтобы показатель надежности был не менее заданного значения $R_0$ при минимально возможной стоимости резерва времени в целом

$$\min_X \left\{ C(б_1,\dots,б_n) \mid R(б_1,\dots,б_n) \geq R_0 \right\}. \tag{39}$$

Основой для решения задач оптимизации являются аналитические выражения для интегральных характеристик надежности и производительности сборочных систем с временным резервированием, полученные в предыдущих главах. Для нахождения экстремальных значений функций используются аналитические методы и нелинейное программирование.

В разделе 5.2 рассмотрена задача определения максимального коэффициента готовности ГАЛС при ограничениях на объемы накопителей. В терминах метода временного резервирования для однопоточной ГАЛС постановка задачи имеет следующий вид:

$$(h_1, \ldots, h_n) \to \max K_{\Gamma}^{(h_1, \ldots, h_n)}, \tag{40}$$

$$\sum_{i=1}^{n} h_i = h, \; h_{i\,min} \le h_i \le h_{i\,max}, \; i = \overline{1,n},$$

где $h$ - суммарный резерв времени в накопителях ГАЛС, $h_{i\,min}$, $h_{i\,max}$ - предельно допустимые минимальное и максимальное значения резерва времени $h_i$ в $i$- накопителе.

Аналитическое решение задачи показано на примерах трех- и четырехфазных ГАЛС. Пусть времена безотказной работы и восстановления ЯС трехфазной ГАЛС имеют экспоненциальное распределение

$$F_{\kappa}^{(0)}(t) = 1 - e^{-\lambda_{\kappa} t}, \; F_{\kappa}^{(1)}(t) = 1 - e^{-\mu_{\kappa} t}, \; \kappa = \overline{1,3}.$$

Введем обозначения:

$$c_0 = 1/(\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3) + 1/(\lambda_1 \lambda_2 \mu_3),$$

$$c_1 = e^{-(\mu_1 + \lambda_3)h}/(\lambda_1 \lambda_3 \mu_1), \; c_2 = e^{-(\mu_2 + \lambda_3)h}/(\lambda_1 \lambda_3 \mu_2).$$

Рассматриваемая задача эквивалентна нахождению наименьшего значения функции

$$Z(h_1) = c_0 + c_1 e^{-\lambda_2 h_1} + c_2 e^{(\mu_2 + \lambda_3) h_1}, \quad 0 \le h_1 \le h .$$

Точка минимума для этой функции имеет вид

$$h_1 = \left[ \ln \frac{c_1 \lambda_2}{c_2 (\mu_2 + \lambda_3)} \right] / (\mu_2 + \lambda_2 + \lambda_3) . \quad (41)$$

В разделе 5.3 решается задача выбора оптимальных объемов накопителей при ограничении затрат на образование и хранение в них запасов промежуточной продукции. Задача ставится следующим образом:

$$(h_1, \ldots, h_n) \to \max K_г^{(h_1, \ldots, h_n)}, \quad (42)$$
$$\sum_{k=1}^{n} c_k h_k \le c_{доп}, \quad 0 \le h_i \le h_{i max}, \quad i = \overline{1,n},$$

где $c_k$ - стоимость затрат на содержание единицы резерва времени в К- ом накопителе, $c_{доп}$- допустимое значение суммарных затрат на образование и хранение запасов промежуточной продукции. Приведены решения этой задачи, полученные методами нелинейного программирования.

В разделе 5.4 решается задача минимизации затрат на содержание запасов промежуточной продукции в накопителях при заданной производительности ГАЛС. Задача формулируется следующим образом:

$$C(h_1, \ldots, h_n) = \sum_{k=1}^{n} c_k h_k \to \min , \quad (43)$$

$$K_г^{(h_1, \ldots, h_n)} = K_г^{зад}, \quad 0 \le h_i \le h_{i max}, \quad i = \overline{1,n}, \quad (44)$$

где $C(h_1, \ldots, h_n)$- стоимость резерва времени в целом.

В работе приведено аналитическое решение этой задачи для трехфазной ГАЛС.

<u>В шестой главе</u> рассматриваются вопросы экспериментальных исследований и имитационного моделирования сборочного производства с учетом временного резервирования.

В разделе 6.1 на основе экспериментальных данных, собранных для ГАЛС гидрораспределителей Р-80 на Мелитопольском заводе тракторных гидроагрегатов, проверена достоверность полученных аналитических выражений. Результаты экспериментальных исследований, теоретически полученные стационарный коэффициент готовности $К_Г$ и технологическая производительность $П_Т$ приведены в табл.1, в которой приняты обозначения: $ЗС_i$ - завинчивающие станки, $К_i$ - кантователи, $Н_i$ - накопители; $\lambda$, $\mu$, $\bar{t}$, $L$ - интенсивности отказов и восстановлений устройств, времена обработки и емкости накопителей соответственно. В разделе приводятся примеры использования полученных аналитических результатов для анализа конкретных ГАЛС.

В разделе 6.2 рассматриваются вопросы имитационного моделирования ГАЛС. Описывается имитационная модель ГАЛС на языке GPSS, анализируются результаты моделирования. В табл.2 представлены результаты имитационного моделирования четырехфазной ГАЛС с исходными данными: времена безотказной работы и восстановления ЯС распределены экспоненциально с параметрами $\lambda$ = 0.043, $\mu$ = 1.25, времена обработки равны 0.2 ч.

Сравнение результатов экспериментальных исследований, имитационного моделирования и теоретических результатов работы показало, что относительная погрешность определения стационарного коэффициента готовности ГАЛС по разработанным математическим моделям не превышает 4 %.

Таблица 1

| N п/п | Вид обо-руд. ГАЛС | Технич. хар. оборуд. ГАЛС, получ. в рез. набл. за линией | | | | Показатели работы ГАЛС | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | расчетные | | фактические | |
| | | $\lambda$, $ч^{-1}$ | $\mu$, $ч^{-1}$ | $\bar{t}$, ч | L, шт | $K_Г^р$ | $П_Т^р$ | $K_Г^ф$ | $П_Т^ф$ |
| 1 | $ЗС_1$ | 0.37 | 4 | 0.009 | | | | | |
| 2 | $Н_1$ | 0.005 | 1.46 | | 6 | | | | |
| 3 | $ЗС_2$ | 0.37 | 4 | 0.003 | | | | | |
| 4 | $Н_2$ | 0.005 | 1.46 | | 7 | | | | |
| 5 | $ЗС_3$ | 0.37 | 4 | 0.003 | | | | | |
| 6 | $Н_3$ | 0.005 | 1.46 | | 5 | | | | |
| 7 | $ЗС_4$ | 0.37 | 4 | 0.005 | | | | | |
| 8 | $Н_4$ | 0.005 | 1.46 | | 5 | 0.555 | 55.5 | 0.54 | 56.2 |
| 9 | $К_1$ | 0.012 | 12.5 | 0.005 | | | | | |
| 10 | $Н_5$ | 0.005 | 1.46 | | 6 | | | | |
| 11 | $ЗС_5$ | 0.37 | 4 | 0.004 | | | | | |
| 12 | $Н_6$ | 0.005 | 1.46 | | 7 | | | | |
| 13 | $ЗС_6$ | 0.37 | 4 | 0.003 | | | | | |
| 14 | $Н_7$ | 0.005 | 1.46 | | 8 | | | | |
| 15 | $К_2$ | 0.012 | 12.5 | 0.006 | | | | | |
| 16 | $Н_8$ | 0.005 | 1.46 | | 12 | | | | |
| 17 | $ЗС_7$ | 0.37 | 2 | 0.010 | | | | | |

Таблица 2

| h | число мест в н-ках | Рез. аналит. моделир. | | Результаты имитац. моделиров. |
|---|---|---|---|---|
| | | $T_+$ | $K_г$ | $K_г^{им}$ |
| 0.2 | 1 | 8.805 | 0.946 | 0.957 |
| 0.4 | 2 | 12.263 | 0.961 | 0.964 |
| 0.6 | 3 | 15.011 | 0.968 | 0.958 |
| 0.8 | 4 | 16.973 | 0.971 | 0.967 |
| 1.0 | 5 | 18.312 | 0.973 | 0.966 |
| 1.2 | 6 | 19.211 | 0.975 | 0.963 |
| 1.4 | 7 | 19.817 | 0.975 | 0.964 |
| 1.6 | 8 | 20.209 | 0.976 | 0.969 |
| 1.8 | 9 | 20.474 | 0.976 | 0.966 |
| 2.0 | 10 | 20.651 | 0.976 | 0.966 |
| 2.2 | 11 | 20.768 | 0.976 | 0.97 |
| 2.4 | 12 | 20.846 | 0.977 | 0.972 |

В разделе 6.3 представлена структура ДПС, обеспечивающей автоматизацию проектирования сборочных систем с временным резервированием.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в работе.

В приложениях представлены результаты имитационного моделирования ГАЛС, акты внедрения результатов работы.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Общим итогом работы является создание концепции математического моделирования сборочных систем с временным резервированием. Разработаны модели и получены аналитические выражения для расчета интегральных характеристик надежности и производительности ряда систем. Результаты работы состоят в следующем:

1. На основании аналитического обзора исследований, посвященных сборочным системам с временным резервированием, выявлены недостатки существующего аппарата моделирования, сформулированы требования, предъявляемые к разрабатываемым моделям.

2. Созданы математические модели базовых структур автоматизированных технологических систем с кумулятивным, мгновенно и постепенно пополняемым, а также комбинированным резервом времени.

3. Построен ПМП общего вида, описывающий функционирование СРВ. Доказаны теоремы о предельном поведении характеристик СРВ в условиях высокой надежности.

4. Разработаны модели многокомпонентных автоматизированных сборочных систем с кумулятивным резервом времени.

5.Построены модели, определены характеристики надежности технологических систем с поэлементным и групповым мгновенно пополняемым резервом времени.

6. Разработаны модели многофазных одно и многопоточных ГАЛС с межоперационными накопителями, на основе алгоритмов фазового укрупнения определены их интегральные характеристики надежности и производительности.

7. На базе разработанных моделей с учетом выбранных критериев решен ряд задач параметрической оптимизации сборочных систем с резервом времени.

8. Для проверки теоретических положений работы, используя данные пассивного эксперимента в производственных условиях, проведено сравнение теоретических и экспериментальных

результатов. Приведены примеры использования полученных ре- результатов для анализа конкретных ГАЛС.

9. Проведено имитационное моделирование ГАЛС, подтвердившее адекватность теоретических результатов и позволившее оценить влияние на надежность и производительность ГАЛС характеристик отдельных ЯС линии.

10. На базе построенных моделей разработана структура ДПС, обеспечивающей автоматизацию проектирования сборочных систем с учетом их временного резервирования.

Разработанная методика анализа СРВ позволяет исследовать значительно более широкий класс сборочных систем с резервом времени, чем рассмотрен в данной работе.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В ПУБЛИКАЦИЯХ:

1. Обжерин Ю.Е., Скатков А.В. Методы построения моделей надежности сложных систем. - Киев: Знание, 1988. - 18 с.

2. Обжерин Ю.Е. Расчет надежностных показателей некоторых типов неоднородных структур // Прикладные задачи теории вероятностей.- / ин-т математики АН УССР. - Киев, 1982. - С. 91-102.

3. Обжерин Ю.Е. Процесс марковского восстановления для систем с пополняемым временным резервом // Аналитические методы теории вероятностей.- / ин-т математики АН УССР.- Киев, 1983. - С. 93-101.

4. Обжерин Ю.Е., Скатков А.В. Многоуровневая модель переработки информации в вычислительных системах коллективного пользования // Вопросы радиоэлектроники. - 1984.- Вып.4.- С. 57-60.

5. Обжерин Ю.Е., Скатков А.В. Полумарковская модель одной системы массового обслуживания // Приборостроение: Респ.

межвед. науч.- техн. сб.- 1986.- Вып. 38.- С. 59-63.

6. Обжерин Ю.Е., Скатков А.В. О времени безотказной работы систем с большим пополняемым резервом времени // Динамические системы: Респ. межвед. науч. сб.- 1987. - Вып. 6. - С. 95-101.

7. Обжерин Ю.Е., Попов И.В., Скатков А.В. Анализ надежности многоканальной системы передачи информации при наличии восстанавливаемого резерва времени // Приборостроение: Респ. межвед. науч.- техн? сб.- 1987. - Вып. 39.- С. 74-77.

8. Обжерин Ю.Е., Скатков А.В. Анализ надежности систем телетрафика средствами теории полумарковских процессов // Модели распределения информации и методы их анализа. Труды Десятой всесоюзной школы - семинара по теории телетрафика. - М., 1988. - С. 29-34.

9. Обжерин Ю.Е., Скатков А.В. О стационарных характеристиках системы с поэлементным пополняемым резервом времени // Динамические системы: Респ. межвед. науч. сб. - 1988. - Вып. 7. - С. 152-155.

10. Обжерин Ю.Е., Скатков А.В. Полумарковская модель надежности вычислительной системы с кумулятивным резервом времени // Приборостроение: Респ. межвед. науч. - техн. сб. - 1988. - Вып. 40. - С. 64-69.

11. Обжерин Ю.Е., Скатков А.В. Полумарковская модель системы обслуживания с потерями // Динамические системы: Респ. межвед. науч. сб. - 1989. - Вып. 8. - С. 83-90.

12. Обжерин Ю.Е., Скатков А.В. Полумарковские модели програмно - целевого планирования испытаний систем // Приборостроение: Респ. межвед. науч. - техн. сб. - 1989. - Вып. 41. - С. 61-69.

13. Максимова Т.М., Обжерин Ю.Е. Исследование надежности двухпроцессорной вычислительной системы // Приборостроение: Респ. межвед. науч. - техн. сб.- 1990. - Вып.42.- С. 53 -57.

14. Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И. Об одной системе обслуживания с потерями и абсолютным приоритетом // Автоматика и телемеханика. - 1990. - N 10. - С. 107-115.

15. Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И. Стационарные характеристики многорежимного процесса восстановления с переключателем // Кибернетика. - 1990. - N 4. - С. 123-125.

16. Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И., Скатков А.В. Полумарковская модель процесса восстановления с переключателем // Динамические системы: Респ. межвед. научн. сб. - 1992. - Вып. 10. - С. 63-68.

17. Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И. О времени безотказной работы системы с мгновенно пополняемым резервом времени // Научные труды факультета естественных наук. - Севастополь, 1993. - Вып.1. - С. 92 -96.

18. Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И. Надежность бесструктурных систем с резервом времени // Динамические системы и структурный анализ. - 1994.- N 6. - С. 60-67.

19. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И. Надежность элементов автоматизированных систем с кумулятивным и мгновенно пополняемым резервом времени // Оптимизация производственных процессов: Научно - техн. сб. - 1994. - Вып. 1 - С. 21-26.

20. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Мащенко Е.Н., Картамов Л.Е. Анализ процесса функционирования автоматизированных производственных систем // Оптимизация производственных процес-

сов: Научно - техн. сб. - 1994. - Вып. 2. - С. 6-14.

21. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Карташов Л.Е., Мащенко Е.Н. Надежностные параметры функционирования синхронных однопоточных автоматизированных линий // Оптимизация производственных процессов: Научно - техн.сб.- 1994.- Вып. 2.-С.56-67.

22. Обжерин Ю.Е., Копп В.Я., Доронина Ю.В. Двухфазная производственная система с накопителем // Оптимизация производственных процессов: Научно - техн. сб.- 1995. - Вып. 3.- С. 14-17.

23. Копп В.Я., Шипилов Н.Ю., Обжерин Ю.Е., Карлов А.Г. Оценка надежности и производительности многопоточной автоматизированной сборочной системы // Оптимизация производственных процессов: Научно - техн.сб. - 1995.- Вып. 3.- С. 14-17.

24. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Мащенко Е.Н., Карташов Л.Е. Модель производственной ячейки с технологическим накопителем // Оптимизация производственных процессов: Научно - техн. сб. - 1995.- Вып. 3. - С. 18-32.

25. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Мащенко Е.Н., Карташов Л.Е. Полумарковская модель производственной ячейки, снабженной временным резервом // Вестник СевГТУ. Автоматизация процессов и управления. - 1995. - С. 41-52.

26. Обжерин Ю.Е., Копп В.Я., Доронина Ю.В. Оценка надежности двухфазной системы с накопителем // Вестник СевГТУ. Автоматизация и управление. - 1995.- С. 121-127.

27. Обжерин Ю.Е. Вычисление показателей надежности системы с временной избыточностью // Предельные теоремы для марковских и полумарковских моделей. / Препринт 83.14. Киев: Ин-т математики АН УССР.- 1983.- С. 3-26.

28. Обжерин Ю.Е., Скатков А.В. Полумарковская модель

системы массового обслуживания с потерями / Севастоп. приборостроит. ин-т. - Севастополь, 1989.- 19 с.- Деп. в УкрНИИНТИ 6.07.89, N 1882 - Ук - 89.

29. Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И. О стационарных характеристиках системы GI/G/1/0 с приоритетом / Севастоп. приборостроит. ин - т. - Севастополь, 1989. - 15 с. - Деп. в УкрНИИНТИ 21.03.89, N 825 - Ук - 89.

30. Максимова Т.М., Обжерин Ю.Е., Скатков А.В. Полумарковская модель функционирования технологических систем с накопителями / Севастоп. приборостроит. ин - т. - Севастополь, 1990. - 20 с.- Деп. в УкрНИИНТИ 19.02.90, N 251 - Ук - 90.

31. Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И. О стационарных характеристиках системы массового обслуживания GI/G/1/1 / Севастоп. приборостроит. ин-т. - Севастополь, 1990. - 25 с. - Деп. в УкрНИИНТИ 15.06.90, N 1133 - Ук - 90.

32. Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И. Анализ надежности бесструктурных систем с резервом времени / Севастоп. приборостроит. ин-т. - Севастополь, 1993 - 14 с. - Деп. в УкрНИИНТИ 22.12.93, N 2525 - Ук - 93.

33. Обжерин Ю.Е., Скатков А.В. Расчет характеристик надежности систем с временным резервированием // Информационный листок о научно - техническом достижении / Крымский МТЦНТИ.- 1987. - 2 с.

34. Турбин А.Ф., Обжерин Ю.Е. Сравнительный анализ эффективности введения структурной и временной избыточности в сложных восстанавливаемых системах //I Республиканская конф. по повышению надежности и долговечности машин и сооружений.- Киев , 1982.- Ч.I.- С. 42-43.

35. Обжерин Ю.Е., Скатков А.В. Рационализация измери-

тельных сетей на основе полумарковских моделей мультиобработки данных // Перспективные методы планирования и анализа экспериментов при исследовании случайных полей и процессов. Тезисы докладов II Всесоюзной конференции. Ч.II.- М., 1985. - С. 50-51.

36. Максимова Т.М., Обжерин Ю.Е., Скатков А.В. Полумарковская модель вычислительной системы простейшей конфигурации // Пути повышения эффективности использования вычислительной техники: тезисы докладов конференции.- Таллин, 1989. - С. 48-50.

37. Обжерин Ю.Е., Скатков А.В. Кумулятивный резерв времени как средство поддержки планово - управленческих решений // Тезисы докладов республиканской научно - практич. конференции.- Киев, 1990. - С.1.

38. Обжерин Ю.Е., Скатков А.В., Чернышов И.Л. Анализ характеристик эргатических систем с поэлементным пополняемым резервом времени // Тез. докл. XVII межрегионального семинара "Эргономика и эффективность систем человек - техника". - Игналина, 1991. - С. 58-60.

39. Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И. О времени безотказной работы двухпроцессорной системы с пополняемым резервом времени // Отказоустойчивость и живучесть аппаратуры и программного обеспечения вычислительных машин, систем и сетей в процессе их разработки и эксплуатации: Материалы краткосрочного семинара.- Санкт - Петербург, 1991.- С. 16-19.

40. Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И. Об одной системе интегральных уравнений, встречающейся в системе массового обслуживания // Тезисы докладов международной конференции " Дифферен. и интег. уравнения, математич. физика и специальные функции". - Самара, 1992. - С. 189.

Обжерін Ю.Е. Методи аналізу автоматизованих складальних систем з тимчасовим резервуванням.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук по спеціальності 05.13.07 - автоматизація технологічних процессів та виробництв. Севастопольський державний технічний університет. Севастополь, 1996.

Захищається рукопис на базі 40 робіт, що містять результати досліджень проблеми надійності та продуктивності систем з тимчасовим резервуванням.

За основу математичного моделювання взято апарат теорії напівмарковських процесів з загальним фазовим простіром. Для вирішення проблеми розмірності моделей використовуються алгоритми асимптотичного фазового укрупнення. Досліджено загальні властивості систем з резервом часу. Побудовано моделі та знайдено інтегральні характеристики надійності та продуктивності систем з тимчасовим резервуванням.

Objerin Yu.E. Analysis methods of automatized assembled systems with a temporary reservation.

The thesis for getting a doctorate in engineering sciences on speciality 05.13.07.- the automation of technological processes and productions. Sevastopol State Technical University, Sevastopol, 1996.

The manuscript is defenced on the base of 40 works that contain the results of researches on the problem of the reliability and productivity of assembled systems with a temporary reservation. Theory chain of semi-markovian processes with general phase space is used as the basic of mathematical modelling of this class. Algorithms of asympotical phase merging are used for solving the problem of the dimensions of models. General properties of the systems with the reserve of time are reresearched. Models are built and integral characteristics of reliability and productivity of a number of assembled systems with a temporary reservation are found.

Ключеві слова: тимчасове резервування, складальна система з резервом часу, проміжний нагромаджувач, напівмарковський процесс, алгоритм фазового укрупнення.

Юбжер

Сдано в набор 12.01.96. Подписано в печать 11.01.96.
Формат бумаги 60x84 1/16. Бум.тип. N2. Офсет. печать.
Усл.печ.л. 2.29. Усл.изд.л. 2. Тираж 100. Заказ N 3
КМУ СГТУ, Севастополь, Гоголя, 14.